

## **Evaluation sismique de bâtiments existants : Pratiques suisses**

**Pierino Lestuzzi**

*Informatique et Mécanique Appliquées à la Construction, ENAC-IS-IMAC  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)  
Bâtiment GC, Station 18, CH-1015 Lausanne  
pierino.lestuzzi@epfl.ch*

### **Introduction**

L'évaluation sismique des bâtiments existants est problématique car ces derniers ont été généralement construits sans tenir compte de ce type de risque ou bien avec des méthodes inadéquates. Principalement en raison de l'adaptation à la hausse de l'aléa sismique dans les régions à sismicité modérée comme la Suisse, une grande majorité d'entre eux devraient être renforcée si elle était évaluée selon les mêmes critères que les bâtiments neufs. Afin de limiter raisonnablement les investissements nécessaires, une approche différente, basée sur le risque, a été récemment introduite dans un document complémentaire des normes de construction suisses.

Sur le plan parasismique, l'élément essentiel qui distingue les ouvrages neufs des ouvrages existants concerne le coût des mesures. Pour les constructions neuves, le coût de l'application des prescriptions des nouvelles normes de construction est quasiment négligeable. En Suisse, des études ont montré que le surcoût se monte au plus à quelques pour cent du montant du gros œuvre. A titre de comparaison, c'est moins cher que l'installation d'un paratonnerre! Par ailleurs, ce coût peut être notablement réduit avec une conception adéquate de la structure porteuse. Pour les constructions existantes, c'est un tout autre problème. Contrairement aux constructions neuves, aucun choix bénéfique quant à la conception de la structure ne peut évidemment être effectué. En outre, leur assainissement sismique est très coûteux, pouvant atteindre plusieurs dizaines de pour cent de la valeur de l'objet. Par conséquent, des approches différentes sont nécessaires pour les constructions nouvelles et pour les constructions existantes.

Le cahier technique SIA 2018 (2004) formalise une telle approche, basée sur le concept de proportionnalité dans le contexte de la réduction du risque et des coûts d'intervention. Il permet, entre autres, de fixer des limites d'investissements raisonnables. Dans ce document, le niveau de sécurité minimal exigé est défini en relation avec l'acceptation du risque individuel qui correspond à la probabilité moyenne qu'une personne décède suite à un séisme. Une fois le critère d'acceptabilité du risque individuel rempli, une appréciation basée sur le principe de proportionnalité doit être effectuée pour décider de l'opportunité des interventions. Cette appréciation est effectuée sur la base des coûts de sauvetage parasismiques qui correspondent statistiquement aux montants dépensés pour sauver des vies humaines.

Pour fixer le contexte, avant de présenter les fondements du cahier technique SIA 2018 (2004) plus en détail, l'évolution des prescriptions sismiques des normes de construction suisses SIA est d'abord rapidement abordée.

## **1 Le séisme dans les normes suisses de construction SIA**

En Suisse ce sont les normes SIA qui régissent la construction des structures habituelles. Fruit d'un travail principalement bénévole de ses membres, elles sont établies par la Société suisse des Ingénieurs et Architectes (SIA) et sont publiées en allemand, français, italien et anglais. A l'instar de la monnaie, la principauté du Liechtenstein a également adopté intégralement les normes suisses SIA.

En 2003, les normes SIA ont subi une importante évolution pour les rendre compatibles avec les Eurocodes. Symbole de cette évolution, les normes SIA de l'édition 2003 ont été renumérotées de 260 à 267. Le dernier chiffre est celui des Eurocodes correspondants (par ex., la norme SIA 261 correspond à l'Eurocode 1).

L'évolution la plus marquée concerne incontestablement les aspects sismiques. La grande nouveauté réside dans l'introduction explicite du dimensionnement en capacité, dénommé dimensionnement ductile. Il faut noter ici que les normes SIA s'appliquent aux structures habituelles et nouvelles comme les bâtiments et les ponts, par exemple. Elles ne concernent pas les bâtiments existants et les monuments historiques. De plus, elles ne s'appliquent pas aux structures spéciales et sensibles comme les barrages ou les centrales nucléaires qui, elles, sont soumises à la réglementation plus stricte de l'ordonnance fédérale sur les accidents majeurs.

Le séisme n'a pas toujours été considéré dans les normes SIA. Avant 1970, les actions sismiques étaient tout simplement ignorées. Le séisme apparaît pour la première fois dans l'édition de 1970. Cependant, c'était bien trop faible et rudimentaire. L'édition de 1989 a apporté une première amélioration avec une carte de danger sismique, une répartition en classes d'ouvrage et des mesures constructives spécifiques. Cependant, seule la méthode de dimensionnement conventionnelle était proposée, ignorant les spécificités de l'action sismique. L'édition de 2003 intègre les derniers développements du génie parasismique, en particulier le dimensionnement en capacité. A terme, les Eurocodes devraient être applicables en Suisse. Cette transition sera grandement facilitée par la compatibilité des nouvelles normes SIA avec les Eurocodes.

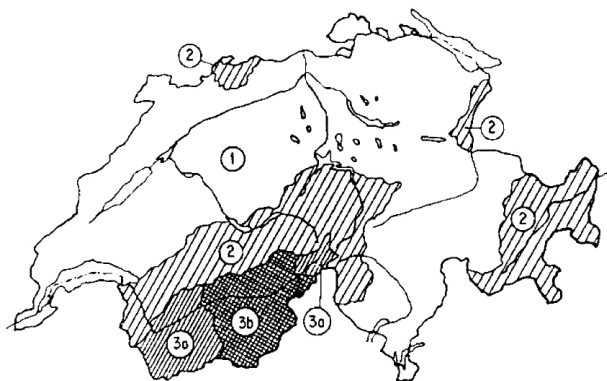
Le traitement du séisme dans les différentes éditions des normes SIA se résume ainsi :

- avant 1970 : néant
- édition 1970 : rudimentaire
- édition 1989 : conventionnelle
- édition 2003 : dimensionnement en capacité
- édition 201? : Eurocodes

### **1.1 *Danger sismique***

L'édition de 1970 de la norme SIA 160 prescrivait un aléa sismique valable pour l'ensemble du pays. Elle stipulait une charge horizontale de remplacement correspondant à 2% du poids propre ( $0.02 \cdot g$ ) du bâtiment.

L'édition de 1989 de la norme SIA 160 a proposé pour la première fois une carte de l'aléa sismique. Comme le montre la figure 1, le territoire y est divisé en quatre zones sismiques nommées Z1, Z2, Z3a et Z3b. La zone la plus exposée, la zone Z3b, se trouve en Haut-Valais. La zone Z3a regroupe le Bas-Valais et l'extrémité du Haut-Valais. La partie méridionale de la Suisse centrale, l'Oberland bernois, l'Engadine, la vallée du Rhin à Saint-Gall et Bâle se trouvent en zone Z2. Le reste du pays est classé en zone Z1, la zone la moins exposée.



**Figure 1 :** Carte des zones d'aléa sismique de l'édition de 1989 de la norme SIA 160 (1989) avec les quatre zones Z1, Z2, Z3a et Z3b.

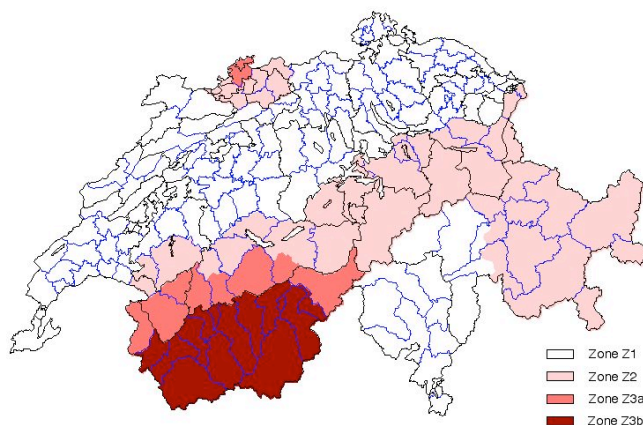
La période de retour considérée est de 400 ans. A chaque zone correspond une

Tableau 1 : accélération du sol de la norme SIA 160 (1989).

Zone	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]
Z1	0.6
Z2	1.0
Z3a	1.3
Z3b	1.6

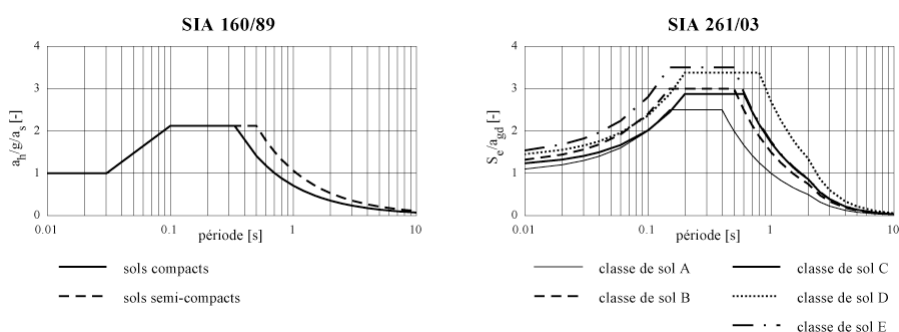
valeur de l'accélération du sol ( $a_g$ ) à considérer conformément au tableau 1.

Pour l'édition 2003 de la norme SIA 261, l'aléa sismique a été adapté aux prescriptions des Eurocodes. La période de retour est ainsi passée à 475 ans correspondant à une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans. Comme les valeurs de l'accélération horizontale du sol issues des dernières études du Service Sismologique Suisse sont très proches des accélérations du sol prescrites dans l'édition 1989 de la norme SIA 160. Les quatre zones Z1, Z2, Z3a et Z3b avec leurs valeurs d'accélération respectives du sol ont ainsi été maintenues. Seule l'extension géographique des différentes zones a subi quelques changements (voir figure 2). Plusieurs régions ont été reclassées dans une zone supérieure. Il s'agit de la région bâloise, du Bas-Valais, du Chablais, de l'Oberland bernois, de la Suisse centrale et des Grisons. L'extrémité occidentale du Valais a même sauté deux zones. Le nord-ouest du Tessin a lui été reclassé dans une zone inférieure.



**Figure 2 :** Carte des zones d'aléa sismique de l'édition de 2003 de la norme SIA 261 (2003) avec les quatre zones Z1, Z2, Z3a et Z3b.

Bien que l'accélération du sol des zones sismiques soit restée constante dans l'évolution de l'édition 1989 de la norme SIA 160 à la norme SIA 261, l'action sismique a été significativement revue à la hausse. Ce rehaussement est dû aux formes différentes des spectres de réponse. En effet, l'amplification du plateau par rapport à l'accélération du sol est passée d'un facteur 2 dans l'édition 1989 de la norme SIA 160 à 3 dans l'édition 2003 de la norme SIA 261. Par ailleurs, la position du plateau s'étant déplacée vers les hautes périodes, le rehaussement est encore plus marqué après le plateau. Au final, on peut affirmer que, en dehors des changements de zone, l'action sismique a été relevée d'un facteur 2 à 3 de l'édition 1989 à l'édition 2003 (voir figure 3). Notons, qu'en contrepartie, la nouvelle édition des normes de construction permet de réduire l'impact de ce rehaussement avec les méthodes modernes de dimensionnement et les valeurs élevées des coefficients de comportement qui leur sont associées (Lestuzzi, 2008).



**Figure 3 :** Spectres de réponse élastiques normalisés de la norme SIA 160 (1989), à gauche et de la norme SIA 261 (2003), à droite.

## 2 Le cahier technique SIA 2018

Pour les constructions existantes, le relèvement du danger sismique de la dernière édition des normes SIA pose un sérieux problème. En plus de l'augmentation significative des sollicitations à considérer, plusieurs régions ont été classées dans une zone de danger sismique supérieure, certaines sautant même deux zones d'un coup. Par ailleurs, l'immense majorité du bâti existant en Suisse a été construite avant 1989, date de l'entrée en vigueur de considérations sismiques convenables. Par conséquent, une grande partie du bâti existant devrait certainement faire l'objet d'un assainissement, si elle était évaluée dans le cadre d'une application stricte des nouvelles normes. Cette situation n'est pas envisageable d'un point de vue économique car les ressources pour ces assainissements ne sont évidemment pas disponibles. En outre, l'application aux constructions existantes des normes SIA, formellement destinées exclusivement aux constructions neuves, nécessite quelques réflexions supplémentaires. La SIA a donc chargé un groupe de travail d'élaborer les bases de ces réflexions dont le résultat a été publié dans le cahier technique SIA 2018 (2004) : «Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants».

L'optique retenue dans le cahier technique SIA 2018 (2004) est une approche basée sur les notions de risque. Ce document novateur dissocie le risque individuel du risque collectif et définit le niveau de sécurité minimum exigé en relation avec l'acceptation du risque individuel. Les éléments suivants constituent l'ossature du cahier technique SIA 2018 :

- le risque individuel
- le principe de proportionnalité

### 2.1 *Risque individuel*

Dans le cahier technique SIA 2018, le niveau de sécurité minimal exigé est défini en relation avec l'acceptation du risque individuel. Le risque individuel correspond à la probabilité moyenne qu'une personne décède suite à un séisme. Il faut remarquer que l'estimation du risque individuel s'effectue sur la base d'une personne qui se trouve en permanence dans le bâtiment considéré. En fait, exprimé de cette manière, le risque individuel est plus un indicateur de la sécurité structurale du bâtiment qu'un risque aux individus proprement dit car personne ne séjourne de manière permanente dans un bâtiment.

Le risque individuel acceptable doit garantir les droits à la sécurité de l'individu. Il s'agit d'une valeur qui doit être déterminée par comparaison avec d'autres risques car elle doit exprimer la position de la société en la matière. Généralement, la probabilité de décès est exprimée sur la base d'une période d'un an. Les valeurs couramment proposées dans la littérature spécialisée oscillent entre  $10^{-3}$  et  $10^{-6}$  par année. C'est-à-dire que les valeurs varient entre un pour mille et un pour un million. Cette variation importante reflète la marge entre des risques consentis et influençables avec un grand bénéfice pour l'individu (par exemple, activité de loisir dangereuse) et des risques non consentis, peu influençables et sans bénéfice pour l'individu (par exemple, industrie chimique du point de vue des riverains).

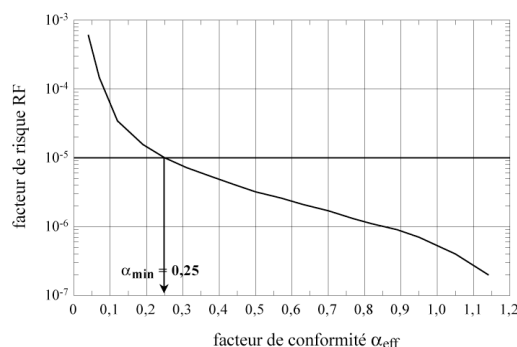
Dans le cadre plus restreint des dangers naturels, des valeurs comprises entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  par année sont considérées comme acceptables. La dernière valeur a été retenue dans le cahier technique SIA 2018. Celle-ci correspond au risque additionnel pris en effectuant 10'000 km en train ou un vol en avion par année. A titre de comparaison, cette valeur est bien inférieure au risque accepté lors de la pratique du motocyclisme ou même de la randonnée en montagne, par exemple.

## 2.2 Facteur de conformité

La valeur du risque individuel acceptable ayant été fixée, reste l'étape la plus difficile, c'est-à-dire la relier à la sécurité structurale des bâtiments. Il s'agit là de l'opération la plus délicate du processus car elle est entachée d'une grande incertitude. Bien que le cahier technique SIA 2018 traite des constructions existantes, il a été décidé de baser les évaluations sur le niveau imposé par les nouvelles normes SIA. Le lien du risque individuel acceptable avec la sécurité structurale s'effectue alors à l'aide du facteur de conformité. Celui-ci quantifie dans quelle mesure, un ouvrage existant répond aux exigences posées pour un ouvrage neuf selon les nouvelles normes SIA.

La détermination du lien entre le risque individuel et le facteur de conformité a été essentiellement effectuée sur la base de jugements d'experts (SIA D 0211, 2005). Tout d'abord, le risque individuel doit être déterminé pour différents types de bâtiments. Cette opération a été effectuée à l'aide des classes de vulnérabilité définies dans l'EMS-98 (2001). Rappelons qu'il représente le risque encouru par une personne qui se trouve en permanence dans le bâtiment durant une année. Il peut être estimé à l'aide du calcul des probabilités et correspond au produit de la probabilité d'occurrence des séismes par la probabilité d'endommagement du bâtiment considéré. La probabilité d'occurrence d'un séisme d'intensité donnée en un lieu donné est définie dans la norme SIA 261 (2003) pour les quatre zones sismiques. La probabilité d'endommagement est déterminée sur la base de l'EMS-98. En effet, l'EMS-98 peut être interprétée comme une définition des degrés de dommage (de 1 à 5) en fonction de l'intensité macrosismique et de la classe de vulnérabilité du bâtiment (de A à F). Pour le risque aux personnes (i.e. de trouver la mort) seuls les degrés de dommage 4 (dommages très élevés) et 5 (effondrement) ont été considérés.

Ce processus a abouti à l'établissement d'une courbe matérialisant la relation entre le risque individuel et le facteur de conformité. Cette courbe est représentée à la figure 4.



**Figure 4 :** Risque individuel (RF) en fonction du facteur de conformité ( $\alpha_{eff}$ )

Le facteur de conformité ( $\alpha_{eff}$ ) se trouve sur l'échelle horizontale et le risque individuel (RF) sur l'échelle verticale. Logiquement, le risque individuel diminue rapidement avec l'augmentation du facteur de conformité. La courbe passe à une valeur de risque individuel de 1 pour 100'000 lorsque le facteur de conformité atteint la valeur de 0.25. Un facteur de conformité égal à 0.25 correspond au risque individuel acceptable. En d'autres termes, la sécurité de l'individu est garantie pour un bâtiment existant si celui-ci résiste à 1/4 des exigences des nouvelles normes SIA.

A ce stade, il faut relever que, selon la courbe établie, le facteur de conformité de 1 correspond à un risque individuel de 0.05 pour 100'000. Cela signifie que les exigences pour les nouveaux bâtiments conduisent à un risque individuel situé bien

au-dessous du risque acceptable, heureusement. Le cahier technique exclu explicitement que ces raisonnements soient appliqués aux bâtiments neufs. La justification de cette interdiction doit être recherchée dans les coûts. Si pour un bâtiment neuf, le passage d'un risque individuel de 1 à 0.05 pour 100'000 ne coûte pratiquement rien, ce n'est pas le cas d'un bâtiment existant, pour lequel chaque niveau de réduction du risque individuel est associé à un coût important.

Un facteur de conformité de 0.25 constitue un plancher en-dessous duquel des mesures de protection parasismique doivent impérativement être prises car la sécurité individuelle n'est alors plus assurée. Si le facteur de conformité est supérieur à 0.25, il faut introduire un critère supplémentaire pour décider de l'opportunité des mesures de protection parasismique. Ce critère supplémentaire est constitué par le coût de sauvetage d'une vie humaine.

### 2.3 Coût de sauvetage d'une vie humaine

La valeur limite du coût de sauvetage d'une vie humaine est intrinsèquement liée au contexte socio-économique. Cette valeur doit refléter ce que la société est prête à investir pour sauver une vie humaine. Elle ne peut donc être déterminée que par comparaison avec les montants consentis dans d'autres situations. Le cahier technique SIA 2018 a fixé la valeur de 10 millions de francs (env. 6 millions d'€) par vie sauvée pour la limite de proportionnalité.

### 2.4 Principe de proportionnalité

La notion de proportionnalité est couramment utilisée aussi bien dans la vie quotidienne que dans le domaine juridique. D'une manière générale, elle permet de relier intérêts et objectifs. Cette notion est utilisée dans le cadre de la sécurité parasismique en utilisant le critère du coût de sauvetage d'une vie humaine pour décider de l'opportunité des interventions.

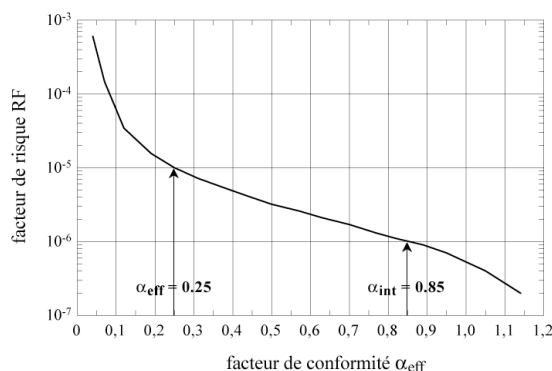
Une fois le critère d'acceptabilité du risque individuel rempli (facteur de conformité  $> 0.25$ ), il faut apprécier la proportionnalité des mesures d'intervention sur la base des coûts de sauvetage parasismiques qui correspondent statistiquement aux montants dépensés pour sauver des vies humaines. Pour utiliser ce critère, il faut déterminer le risque collectif qui dépend du nombre de personnes se trouvant dans le bâtiment ainsi que de leur temps de présence. Par ailleurs, étant donné que l'estimation s'effectue sur une base annuelle, il faut considérer la durée d'utilisation restante pour répartir les investissements envisagés.

Sans entrer dans les détails, le calcul des coûts de sauvetage fait intervenir la réduction du risque liée à l'intervention selon la courbe de la figure 4, l'occupation moyenne du bâtiment (PB) et la durée d'utilisation restante. Logiquement, plus la réduction du risque est importante, plus le bâtiment est occupé et plus celui-ci sera utilisé longtemps, moins les coûts de sauvetage seront élevés. Il faut noter que la période de retour de l'action sismique étant bien plus élevée (env. 500 ans) que la durée d'utilisation restante (de l'ordre de 50 ans) et qu'un bâtiment est rarement occupé en permanence, les interventions ne permettent de sauver statistiquement que des fractions de vies humaines. Ainsi, les montants considérés comme proportionnels n'atteignent également qu'une fraction de la limite des 10 millions de francs.

A titre d'exemple, considérons un bâtiment de bureaux dont le facteur de conformité ( $\alpha_{\text{eff}}$ ) est juste égal au seuil minimal ( $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\text{min}} = 0.25$ ). Admettons que l'adjonction de voiles en béton armé permette d'obtenir une valeur du facteur de conformité après intervention de  $\alpha_{\text{int}} = 0.85$ . Dans ce cas, la réduction du risque est de  $10^{-5} - 10^{-6} = 9 \cdot 10^{-6}$  /an (voir figure 5). Par ailleurs, 50 employés travaillant 8.5 heures par jour, 5 jours par semaines et 46 semaines par an conduisent à une

occupation moyenne de 11 personnes ( $PB = 50 \cdot 8.5 / 24 \cdot 5 / 7 \cdot 46 / 52 = 11$ ). Par conséquent, si l'occupation moyenne de ce bâtiment est de 11 personnes, cela signifie que l'intervention prévue permet de sauver  $11 \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-4}$  vie/an, c'est-à-dire 1 dix millième de vie par année ! Par conséquent, même avec une durée d'utilisation restante de 50 ans, seul un montant de l'ordre de grandeur de 100'000 francs (env. 60'000 €) satisfait au critère de la proportionnalité ce qui est bien inférieur à la limite des 10 millions de francs (env. 6 millions d'€).

Il faut relever que la proportionnalité ne doit pas nécessairement être prise au pied de la lettre. Elle doit également prendre en compte les valeurs relatives des montants à dépenser pour l'amélioration de la sécurité parasismique par rapport aux coûts globaux d'une transformation. Ainsi, même s'ils sont supérieurs à la limite de 10 millions de francs par vie sauvée, les coûts peuvent être considérés comme proportionnels s'ils ne représentent que quelques pour cents des coûts globaux d'une transformation.



**Figure 5 :** Détermination de la réduction du risque pour le calcul des coûts de sauvetage.

## 2.5 Appréciation de la sécurité parasismique

L'intervention est nécessaire si le facteur de conformité est inférieur à 0.25, quelle que soit la durée d'utilisation restante. En effet, dans ce cas, nous venons de voir que la sécurité individuelle n'est pas garantie. Avec un facteur de conformité supérieur à 0.25, l'intervention est nécessaire si elle est proportionnelle. La proportionnalité doit être vérifiée avec le critère des coûts de sauvetage. Les montants à considérer englobent le montant des travaux de la mesure de protection proprement dit, mais également le montant des travaux de remise en état (y compris le crépissage des murs, les travaux de peinture, etc.), les honoraires et les coûts induits par l'utilisation réduite de l'ouvrage.

D'une manière générale, les coûts de sauvetage sont élevés si les mesures envisagées sont chères et imputables uniquement à la sécurité sismique, si le bénéfice en sécurité est faible, si les mesures ne profitent qu'à peu de personnes et si les coûts des mesures doivent être amortis dans un court laps de temps. En revanche, les coûts de sauvetage sont faibles si une partie des coûts des mesures peuvent être inclus dans le cadre d'un assainissement plus global, si le bâtiment est sujet à un fort taux d'occupation ou si les coûts peuvent être amortis sur une longue période (la durée d'utilisation restante est grande).

En bref, plus la durée d'utilisation restante est faible, moins les mesures d'intervention sont proportionnelles car elles doivent être amorties sur une durée restreinte.



### 3 Procédures fédérales et cantonales

Par rapport aux pays environnants, les normes de construction ont, en Suisse, un statut particulier car elles n'ont pas directement force de loi et peuvent, de ce fait, n'être considérées que comme des recommandations. Cependant, la législation fédérale stipule, par exemple, que le propriétaire doit s'assurer que la chose louée soit exempte de défauts. Pour satisfaire cette condition, un bâtiment doit être construit dans les règles de l'art ; et les règles de l'art sont définies dans... les normes SIA. Par conséquent, les normes SIA n'ont qu'indirectement force de loi sur le territoire helvétique. Par ailleurs, en Suisse, les calculs de dimensionnement ne sont traditionnellement soumis à aucun contrôle ; c'est le domaine de responsabilité de l'ingénieur. Enfin, pour compliquer la situation, le droit de la construction est une affaire cantonale et les cantons sont souverains pour établir des mesures de construction parasismique.

Le canton du Valais, situé dans la zone de danger sismique le plus élevé, a fait oeuvre de pionnier en rendant obligatoires dès 2004 les prescriptions sismiques des normes SIA dans sa législation cantonale et, surtout, en instaurant un contrôle systématique. Pour la Suisse, ce fut une petite révolution. Pour les bâtiments de plus de deux niveaux sur rez-de-chaussée, un rapport de prédimensionnement doit faire partie des documents de mise à l'enquête afin d'obtenir le permis de construire. De plus, à la fin des travaux, un rapport de conformité est exigé pour l'obtention du permis d'habiter. Des exemples de ces documents sont accessibles sur internet ([www.crealp.ch](http://www.crealp.ch)).

Au niveau fédéral, des procédures de contrôle du respect des prescriptions sismiques des normes SIA ont également été mises en place. Cependant, leur impact est limité par le fait que la Confédération ne peut légiférer que dans son domaine de compétence (ses propres constructions ou les constructions qu'elle finance). Actuellement, la mise en place des procédures cantonales en matière de construction parasismique progresse, mais le contrôle systématique valaisan reste l'exception.

### 4 Formation continue

La mise en place des procédures fédérales et cantonales a rapidement fait apparaître la nécessité de formation complémentaire pour les ingénieurs en structures. Pour répondre à ce besoin, un cours de formation postgrade en génie parasismique a été mis en place en 2006 à l'école d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg. Il s'agit d'une formation continue en emploi, s'étendant sur une année et comprenant approximativement 300 heures, équivalant à 10 crédits ECTS. La partie théorique se divise en trois modules (bases théoriques, ouvrages neufs et ouvrages existants), dispensés sur quatre jours chacun. Les méthodes modernes d'évaluation sismique basées sur les déformations sont traitées dans le dernier module qui est le plus exigeant. Le cours se termine par un travail personnel représentant 180 heures. Dès 2009, ce cours sera également donné en allemand à l'école d'ingénieurs et d'architectes de Lucerne.

### 5 Conclusions

En raison des coûts importants associés à l'application des récentes prescriptions sismiques dans le cas des constructions existantes, une optique différente de celle des ouvrages neufs doit être utilisée. La Suisse applique depuis peu une approche basée sur les notions de risque et formalisée dans une directive novatrice, le cahier technique SIA 2018. Le niveau de sécurité minimum exigé est défini en relation avec l'acceptation du risque individuel. Par comparaison avec d'autres risques, le risque individuel est considéré comme acceptable si le facteur de conformité est supérieur à 0.25. Le facteur de conformité quantifie dans quelle mesure, un ouvrage

existant répond aux exigences posées pour un ouvrage neuf selon les dernières prescriptions sismiques.

Une fois le critère d'acceptabilité du risque individuel rempli (facteur de conformité  $> 0.25$ ), une appréciation basée sur le principe de proportionnalité doit être effectuée pour décider de l'opportunité des interventions. Cette appréciation est effectuée sur la base des coûts de sauvetage parasismiques qui correspondent statistiquement aux montants dépensés pour sauver des vies humaines. Le cahier technique SIA 2018 fixe la limite de proportionnalité à 10 millions de francs (env. 6 millions €) par vie sauvée.

## **Bibliographie**

Grünthal G., Levret A., *L'Echelle Macrosismique Européenne (European Macroseismic Scale 1998, EMS-98)*, Luxembourg, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 19, Conseil de l'Europe, 2001.

Lestuzzi P., *Séismes et construction. Eléments pour non-spécialistes*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2008.

SIA 2018 (cahier technique), *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants*, Zurich, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2004.

SIA 160 (norme), *Actions sur les structures porteuses*, Zurich, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 1989.

SIA 261 (norme), *Actions sur les structures porteuses*, Zurich, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2003.

SIA D 0211 (documentation), *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants. Introduction au cahier technique SIA 2018*, Zurich, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 2005.